

UFCへの鋼繊維配合量に関する基礎研究

大成建設株式会社 正会員 ○武者 浩透, 正会員 大熊 光, 正会員 大島 邦明

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート (UFC) への鋼繊維配合量は, 土木学会の UFC 指針 (案) では 2.00vol% (標準配合粉体:RPC 系 UFC の場合) と解説欄に示されている. これは, 構造物における各部位の鋼繊維の分散性や配向性を考慮して安全側に定めた値である. 今後, UFC 構造物をより合理的に設計するには, UFC 構造物の破壊耐力を精度を上げて算定する手法を開発した上で, 構造物の形状や荷重の特性など構造物に応じた配合量の設定が必要となる. 本研究では, 破壊耐力算定の基礎データとするため, 鋼繊維の配合量を変えた供試体を作成し, その切断面から鋼繊維の分散性や配向性の検討を行った. また, 曲げ強度試験を実施し, 鋼繊維配合量と曲げ強度の関係を把握した.

2. 実験の概要

本実験では, UFC 指針 (案) で用いられている標準配合粉体 (RPC 系 UFC), および鋼繊維 ($\phi=0.2\text{mm}$, $L=15\text{mm}$, 引張強度 $P_u=2,800\text{N/mm}^2$) を用いた. UFC の練上り直後のフローは標準的な 260mm となるように減水剤量を調整した. 供試体は曲げ強度試験用の $100\text{mm}\times100\text{mm}\times400\text{mm}$ とし, UFC 指針 (案) の参考資料 2 に示されている曲げ用供試体の作成要領に準じて作成し, 標準熱養生 (90°C で 48 時間の蒸気養生) を施した. 鋼繊維の配合量は, 1.00vol% から 0.25 vol% 刻みとし, 配合量による供試体内の分散性や配向性の傾向を確認するため, 標準の 2.00 vol% より多い 2.50 vol% までの 7 ケースとした (表-1). 供試体断面のファイバーカウントは, 全ケースについて実施し, 曲げ強度試験については実験の主旨より 2.00vol% までの 5 ケースについて実施した. 各試験の供試体本数は, ばらつきを把握するために各ケース 6 本とした.



写真-1 供試体断面
鋼繊維 2vol% (供試体 5-1)

表-1 鋼繊維の配合量と実施試験項目

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7
鋼繊維の配合量	1.00%	1.25%	1.50%	1.75%	2.00%	2.25%	2.50%
ファイバーカウント	○	○	○	○	○	○	○
曲げ強度試験	○	○	○	○	○		

(配合量は体積%:vol%)

- (1) **ファイバーカウント**: 供試体内の鋼繊維の分散性や配向性を調査するために, 曲げ用供試体を長手方向の中央で切断し, 鋼繊維本数をカウントした. カウント方法は, 打設面を上面として断面を高さ方向に 3 分割, 幅方向に 4 分割し (図-1 左), 分けられたエリアの鋼繊維を断面の拡大写真 (写真-1) を用いてカウントを行い, 表-2 に示すように集計した. なお, ファイバーカウントは下記に示す曲げ強度試験の実施後に曲げひび割れ近傍を切断して実施した.
- (2) **曲げ強度試験**: 曲げ強度試験は JSCE-G552-1999 に準じて 3 等分点曲げ試験を行った. その際, 載荷面は平滑な型枠面を使用するため, 打設面を側面として実施した (図-1 右). そのため曲げ強度試験時には, エリア 1 もしくは 4 のエリアが下面 (引張側) となる.

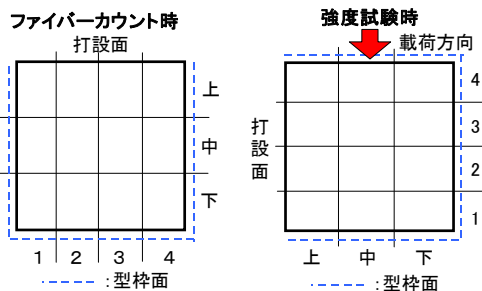


図-1 断面のエリア分けと
強度試験時の載荷方向

表-2 供試体のファイバーカウント (本数)
(供試体 5-1)

	1	2	3	4	小計	平均との差
上	513	359	361	467	1,700	-12%
中	543	443	425	505	1,916	0%
下	561	511	526	558	2,155	12%
小計	1,617	1,312	1,312	1,530	5,771	
平均との差	12%	-9%	-9%	6%		

3. ファイバーカウント結果

図-2 にケース 5 (2.00vol% 配合) の供試体 6 本の上下方向の鋼繊維本数のばらつきを, 表-2 ように集計表から得られたパーセントで示す. 各供試体とも上部に少なく下部に多くなっており, その分布はほぼ直線であった. 図-3 には同ケースの左右方向のばらつきを示す. 左右方向では両端のエリアに鋼繊維が多く, 中央に少ない傾向は各供試体に共通であった. 図-4 および図-5 に各ケース (配合率) の平均値を用いた上下方向と左右方向の鋼繊維本数のばらつきを示す. いずれの図もケース 5 のケースとほぼ同等の傾向であった. 図-4 の上下方向のばらつきでは, 1.00vol% 配合のケース 1 のみ若干傾向が弱いものの, その他のケースは上段と中段, および中段と下段のエリアで 17~20% の本数のばらつきがあった.

キーワード: 超高強度, 繊維補強, UFC, 供試体, 曲げ強度, 分散

連絡先: 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 (株) 技術センター土木技術開発部 TEL 045-814-7219

上下方向のばらつきを見ると、あたかも鋼繊維が沈降して上下の本数が異なっているように見えるが、左右方向のばらつきでは、側面側と中央部に明らかな違いが見られる。この事実を踏まえて供試体断面の写真を見比べると、型枠面の3面に沿って本数が多くなっており、上部および中央部の本数が少ない。このことより、供試体内の鋼繊維本数のばらつきは、供試体作成時のUFC流し込みの際に型枠面に沿って生じるとされる層流によって型枠長手方向に鋼繊維の配向性が生じているものと推測される。

また、図-6 には配合率と鋼繊維本数の関係を示すが、直線近似で極めて高い相関が得られている。

4. 曲げ強度試験結果

曲げ強度試験の際には、図-1 右に示すように供試体製作時の側面が下面となるため、1もしくは4のエリアの鋼繊維本数が曲げ強度に大きく寄与する。しかしながら、エリア1や4の鋼繊維本数は多いが、すぐ上のエリア2もしくは3の本数が少ないため、この鋼繊維本数のばらつきがどの程度曲げ強度に与える影響は不明である。

図-7 に曲げ強度と鋼繊維配合率の関係を示す。この図に示す、 $f_b = 30.9 \text{ N/mm}^2$ と $f_{bk} = 24.4 \text{ N/mm}^2$ はUFC 指針(案) p 14 に示されている指針における曲げ強度の平均値と特性値であり、図ではそれに対応する配合率を示してある。この図より、指針の曲げ強度の平均値から算定した配合率は2.06vol%と指針の標準配合粉体の鋼繊維配合率2.0vol%に近い値を示している。また、同図を用いて指針の特性値 24.4 N/mm^2 に対応する配合率を算定すると1.10vol%となり、指針の特性値を満足する上での鋼繊維配合率を考えた場合、指針の2.0vol%配合は安全側に大きなマージンを取っていると考えられる。

5. 考察と今後

供試体断面のファイバーカウントでは、鋼繊維の配合率に応じた鋼繊維本数が確認されたが、型枠面に沿った層流の影響と見られる本数のばらつき(偏在)が見られ、その傾向はどの配合率でも同様であった。供試体の曲げ強度は、この鋼繊維本数の分布に依存しており、実構造物の繊維補強効果を評価するにはこの分布を考慮する必要がある。

また、曲げ強度と配合率の関係からは、UFC 指針で示されている曲げ強度の平均値に対応する配合率は2.0vol%と算定され、指針での鋼繊維配合量と一致しており、指針策定時の曲げ強度試験を検証した結果となった。指針での曲げ強度の特性値に対応する配合率は1.1vol%と算定され、標準配合量の2.0vol%に比べて大きなマージンが確認された。このマージンは、実際の構造物での鋼繊維の分散性や配向性などによる鋼繊維補強のばらつきを考慮したものであるため、実構造物の鋼繊維分布を把握することにより、その構造物にとって合理的な配合率の設定が可能となると考えられる。

今後は平板パネルやL型ブロックまたはI桁など、各形状における各部位の鋼繊維の分散と配向性および曲げ強度を調査し、構造物ごとの推奨配合量設定のための基礎データを蓄積する予定である。今回の研究が、今後のUFC 構造物の合理的な設計の一助となれば幸いである。

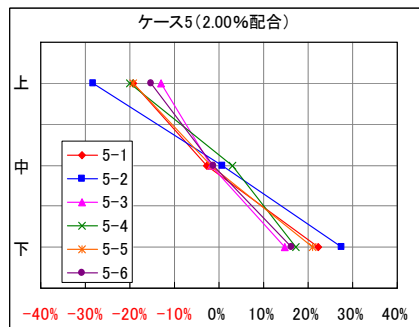


図-2 断面の鋼繊維本数(上下方向)
(ケース5:2vol%配合)

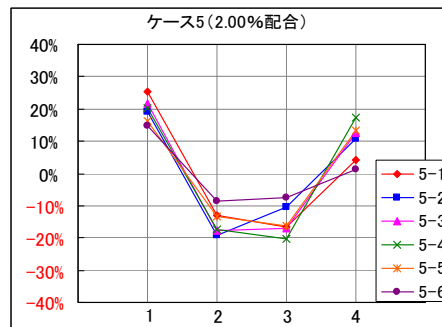


図-3 断面の鋼繊維本数(左右方向)
(ケース5:2vol%配合)

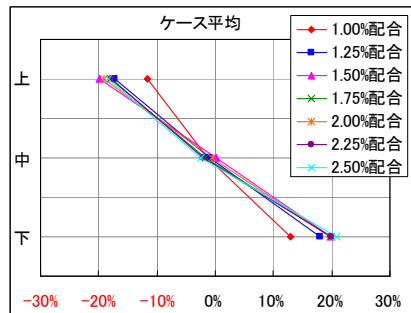


図-4 断面の鋼繊維本数(上下方向)
(各ケース平均)

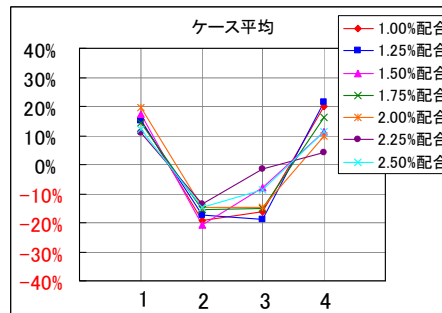


図-5 断面の鋼繊維本数(左右方向)
(各ケース平均)

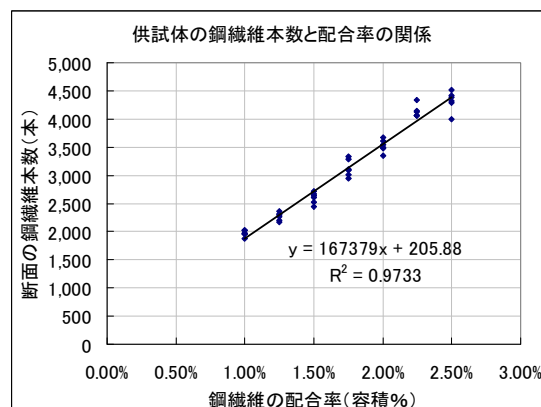


図-6 鋼繊維断面本数と配合率関係

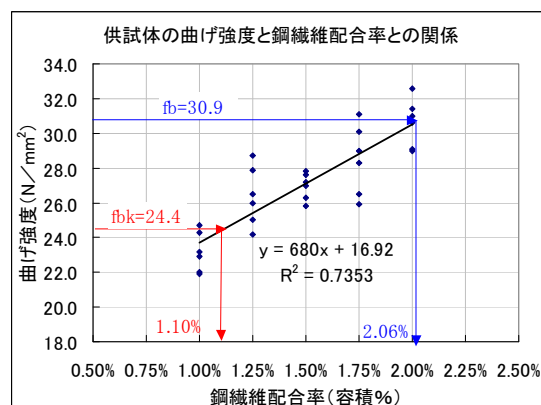


図-7 曲げ強度-鋼繊維配合率関係